ＮＤＩＳ意見受付

NDIS 3429　原案作成委員会

　このＮＤＩＳは「日本非破壊検査協会規格（ＮＤＩＳ）制定等に関する規則」に基づき関係者にＮＤＩＳの制定前の意見提出期間を設けるために掲載するものです。

　意見は規格原案決定の際の参考として取り扱いさせていただきます。

　掲載されているＮＤＩＳについての意見提出は下記メールアドレスまでお願いいたします。

意見受付締切日：2010 年 8 月 25 日(水)

意見提出先：Ｅmail:ohnishi@jsndi.or.jp

日本非破壊検査協会規格（案）

NDIS 3429:xxxx

電磁波レーダ法によるコンクリート構造物中の鉄筋探査方法

Method for Investigating Location of Reinforcing Bars in Concrete Structure by Radar

序文

この規格は，電磁波レーダ法によってコンクリート構造物中の配筋状態を確認するための日本非破壊検査協会規格である。

なお，対応国際規格は現時点で制定されていない。

1　適用範囲

この規格は，電磁波レーダ法による鉄筋探査（鉄筋位置・間隔及びかぶり厚さ [1)]）の方法並びに探査装置の機能・性能及び点検方法について規定する。

注 [1)]　モルタル，タイルなど厚い仕上げ材がある場合は，鉄筋位置・間隔の探査を適用対象とし，かぶり厚さは参考扱いとする。

この規格を適用する責任は，この規格の使用者に帰する。また，規格を適用した場合に生じるかもしれない安全上又は衛生上の諸問題に関しては，この規格の適用範囲外である。この規格の適用に際して，安全上又は衛生上の規定が必要な場合は，この規格の使用者の責任で，安全又は衛生に関する規格又は指針などを併用しなければならない。

2　引用規格

次に掲げる規格は，この規格に引用されることによって，この規格の一部を構成する。この引用規格は，その最新版（追補を含む）を適用する。

JIS A 0203　コンクリート用語

JIS G 3112　鉄筋コンクリート用棒鋼

JIS G 3117　鉄筋コンクリート用再生棒

JIS Z 2300　非破壊検査用語

3　用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は，**JIS A 0203**，**JIS G 3112**，**JIS G 3117** 及び **JIS Z 2300** によるほか，次による。

3.1

鉄筋探査

鉄筋位置・間隔及びかぶり厚さの探査

3.2

鉄筋位置

鉄筋のコンクリート表面への投影位置。

3.3

鉄筋間隔

コンクリート部材内に配置された鉄筋の中心間の距離。

3.4

かぶり厚さ

コンクリート表面から対象とする鉄筋表面までの最短距離。

3.5

電磁波レーダ法

媒質中を直進する電磁波が誘電率の異なる境界で反射する性質を利用して，コンクリート中の鉄筋を探査する方法。

3.6

比誘電率

媒質の誘電率と真空の誘電率の比。

3.7

対比試験体

特別点検及び日常点検に用いる試験体。

3.8

基準線

測定位置の座標を定めるための基準となる線。

3.9

走査線

探査装置を走査させる時の走査の方向の基準となる線。

4　電磁波レーダ法による鉄筋探査の方法

電磁波レーダ法による鉄筋探査は，電磁波を媒質中（コンクリート中）に放射すると電気的性質（誘電率，透磁率など）の異なる境界で反射するという性質を利用したものである。 アンテナを移動しながら微小距離間隔で電磁波を放射し，探査対象である鉄筋が存在する地点で生じた反射波により，平面内の位置を推定し，反射波が返ってくるまでの時間から深さ方向の位置を推定するものであり，詳しくは**附属書 A** を参考にするとよい。

5　試験技術者

この規格を適用して鉄筋探査を行う試験技術者は，探査装置及び探査原理に加えて鉄筋コンクリート構造に関する知識をもつ者でなければならない。

6　探査装置

6.1　探査装置の構成

探査装置は，アンテナ部及び演算処理部から構成されている（**図 1** 参照）。

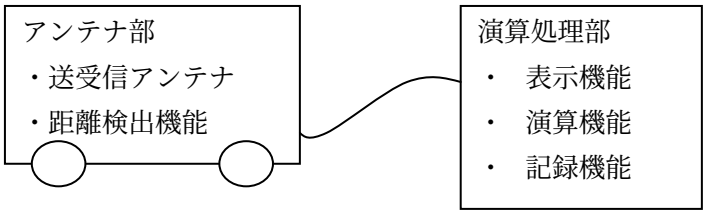


図 1―探査装置の構成

6.2　探査装置の機能及び性能

探査装置に要求される機能及び性能については，**附属書 B** による。

6.3　探査装置の点検

6.3.1　定期点検

a)　定期点検の目的

定期点検は，探査装置が**附属書 B** に示す機能及び性能をもつことを確認するために行う。

b)　定期点検の時期

定期点検は，定められた期間ごと又は日常点検において異常が確認された場合に行う。

c)　定期点検の実施者

定期点検は，装置製造者又はその代理者に依頼して行う。

d)　探査装置の調整

定期点検時に**附属書 B** に示す機能及び性能を満足できない場合は，探査装置の調整を行う。

6.3.2　特別点検

a)　特別点検の目的

特別点検は，次のような場合に，日常点検のための初期値を求めるために行う。

1)　探査装置を購入した場合

2)　探査装置の修理又は定期点検を行った場合

b)　特別点検の実施者

特別点検は，**a)**の目的に応じて試験技術者が行う。

c)　特別点検の方法

附属書 C による方法を参考に実施する。

6.3.3　日常点検

a)　日常点検の目的

探査装置が正常に作動していることを試験開始前，試験中及び試験終了時に確認する。

1)　試験開始前点検

附属書 D に示すような対比試験体を用いて，試験開始前に探査装置が正常に作動することを確認する。

2)　試験中点検

附属書 D に示すような対比試験体を用いて，試験中随時に探査装置が正常に作動していることを確認する。

3) 試験終了時点検

附属書 D に示すような対比試験体を用いて，試験終了時に探査装置が正常に作動していたことを確認する。

b) 日常点検の実施者

日常点検は，**a)**の時期に試験技術者が適宜行う。

c) 日常点検の方法

附属書 C による方法を参考に実施する。

6.3.4 異常の場合の措置

6.3.3 の日常点検の各点検時に異常が認められた場合の措置は，次による。

a) 日常点検で異常が認められた探査装置は，使用してはならない。

b) 試験中又は試験終了時点検で異常が認められた場合は，その点検の直前の点検以降に実施した試験の結果を無効とする。

7 探査方法

7.1 事前調査

探査を行なう前に，対象とするコンクリート構造物の設計諸元（形状，鉄筋径，かぶり厚さ，鉄筋間隔など），設計図面，中間検査（配筋検査）結果などの資料を収集する。

7.2 探査位置の選定

探査の部位，目的に応じ，事前調査によって確認した配筋状態を参考に，探査装置の性能などを参考として，探査位置を選定する。

7.3 予備調査

a) 探査面の処理

探査面（コンクリート表面）の金属や水分，汚れなど，測定に影響を与えるものが存在する場合にはこれらを除去する，また，探査面はできるだけ平滑にするようにする。モルタルやタイルなど厚さがあり比誘電率が変化しやすい仕上げ材がある場合には，鉄筋位置の推定は可能であるが，かぶり厚さの推定は仕上げ材とコンクリートの比誘電率が異なることから，誤差が大きくなりやすく困難である。特に雨掛り部のモルタル仕上げは含水状態の影響が大きい。

b) 予備調査

1) 探査面の探査範囲内に予想される鉄筋の軸方向にあわせて，直交する 2 本の基準線（X，Y 軸）を定め，マーキングする。

マーキングは探査面に直接書き込むほか，テープやフィルムなどを用いてもよい。

2) 走査線内に探査範囲が含まれるよう走査線を設定して探査を行い，鉄筋位置をマーキングする。

c) 鉄筋位置の作図及び走査線の設定

1) 鉄筋位置のマーキング結果より配筋マップを探査面に作図する。

探査装置で鉄筋位置が画像データ表示される場合は，それを利用してもよい。

2) 走査線をマーキングした各鉄筋の中間かつかぶり厚さ測定対象の鉄筋に直交するよう設定する。

7.4 比誘電率の算定

附属書 F（カーブフィッティング法），**附属書 G**（鉄筋径法），**附属書 H**（実測法），その他検証された方法によりコンクリート中の比誘電率の算定を行う。

比誘電率を算定する位置は，含水状態が違う部位ごとに行う。

7.5 走査方法

走査方法は，次の手順による。

a) アンテナ部の基準点を走査開始点上に設置する。

b) アンテナ部を走査線に沿って探査面上を走行させる。

1) アンテナ走行中は，エンコーダ（アンテナ車輪部）が探査面から離れたり滑ったりしないよう注意する。

2) アンテナは一定方向に進行させなければならない。

c) アンテナ部の基準点が走査終了点を通過したことを確認し，走査を終了する。

d) アンテナ部の走査距離を実測し，レーダの走査距離が所定の誤差範囲内であることを確認する。走査距離が誤差範囲外の場合，そのデータの使用を中止し，走査をやり直す。

8 鉄筋位置及びかぶり厚さの推定

a) 反射波形から，反射時間が最小の位置とその時間を求める。

b) かぶり厚さを式（1）により算定する。**1)**

$$d = \frac{C \cdot t}{2\sqrt{\varepsilon}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

ここで，

d： かぶり厚さ（mm）

t： 反射時間（ns）

ε： 比誘電率

C： 真空中における電磁波伝搬速度（3×10^2 mm/ns）

かぶり厚さの数値は，四捨五入により整数に丸めた数値（**JIS Z 8401**-1999 規則 B）とする。

注 1) 式（1）は，比誘電率を一定値と仮定した場合のかぶり厚さを求める式である。**附属書 G**（参考）鉄筋径法の場合，コンクリート内部の含水状態を考慮して，表面の比誘電率は小さく，内部は大きくなるような分布を仮定している。このような場合の比誘電率分布の推定の例を **G.2.4** に示す。その場合のかぶり厚さの計算方法の例を式（G.3）に示す。

c) 波形が見えにくい場合は，**附属書 I** などによってデータ処理を行ったうえで，かぶり厚さ，鉄筋位置を求める。

d) 探査装置で，鉄筋位置及びかぶり厚さがデータ表示される場合は，それを利用してもよい。

9 報告

探査結果の報告書には，探査結果と共に次の事項を記載する。

報告の様式は，**附属書 E**（参考）などによることができる。

9.1 必ず報告する事項

a) 工事名称

b) 測定年月日，時刻

c) 測定箇所

d) 試験技術者

e) 探査装置本体の型式及び製造番号

f) アンテナの型式及び製造番号

g) 点検の記録（定期点検，日常点検）

h) 探査箇所の概要

i) 探査結果

  1) 比誘電率の推定結果

  2) かぶり厚さの推定結果

  3) 鉄筋位置の推定結果

j) 仕上げ材の有無及び種類

k) 留意事項

9.2 必要に応じて報告する事項

a) コンクリートの圧縮強度及び材齢

b) 鉄筋の位置が確認可能な設計図，施工図，補修図などの図面

c) 指定事項

d) 協議事項

附属書 A
（参考）
電磁波レーダ法による鉄筋探査の方法

序文

この附属書は，本体及び附属書（規定）に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，電磁波レーダ法の探査原理について示す。

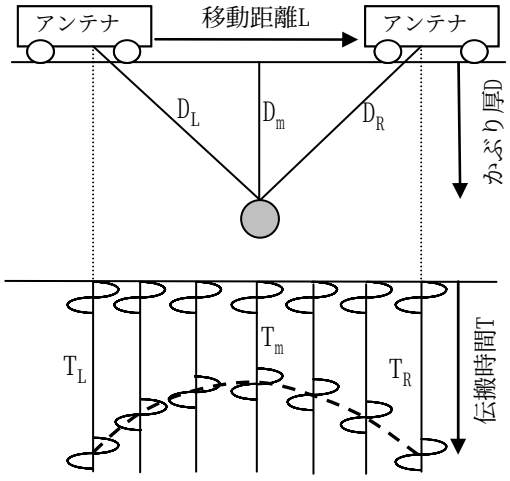
A.1　電磁波レーダ法

コンクリート用電磁波レーダの探査原理は,現在広く用いられている通信レーダなどと同じ原理である。インパルス状の電磁波をコンクリート内へ送信アンテナから放射し，コンクリート内の比誘電率及び透磁率の異なる物体との境界面からの反射波を受信アンテナで受信し，この往復伝搬時間から反射物体（鉄筋）までの距離を求めるものである。

A.2　鉄筋位置及びかぶり厚さ推定方法

A.2.1　反射波形

電磁波の場合，アンテナから放射される波は走行方向に広がりを持っているため，**図 A.1** に示すように鉄筋などの異なる物質があった場合，その前後でも反射し，受信アンテナが受信した場合，アンテナが異なる物質に近づいてから遠ざかるまでの距離の差異によって,**図 A.1** に示す破線は山形の双曲線状になる。したがって，電磁波レーダによる探査において，コンクリート面でアンテナを移動させながら連続的に電磁波の送信と反射波の受信を繰り返し，得られる反射波形に対して，横軸を移動距離，縦軸を時間とした場合，反射波形が上に凸の曲線となり，この曲線の頂点での伝搬時間 T_m が鉄筋の推定位置と推定深さ（かぶり厚さ D_m）となる。



D_L,D_m,D_R:**アンテナから鉄筋までの距離**

T_L,T_m,T_R:**距離**D_L,D_m,D_R**までの往復の伝搬時間**

図 A.1—電磁波レーダ法による鉄筋の探査方法

A.2.2　鉄筋位置の推定

電磁波の速度は，空中及び真空中では約 3.0×10^{2}mm/ns である。また，電磁波の伝搬速度は通過する媒

質の電気的性質の影響を受け，一般に式（A.1）で与えられる。

$$V = \frac{C}{\sqrt{\varepsilon}\cdot\sqrt{\mu}} \quad \cdots\cdots\cdots\

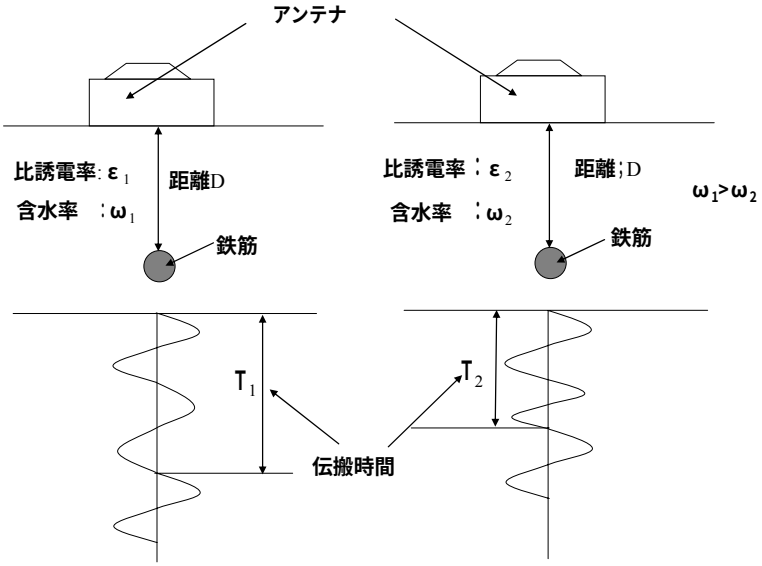


図 A.2―コンクリート中の含水率の違いが伝搬時間に及ぼす影響

b) 複数の伝搬経路から推定方法

電磁波レーダの探査原理は，アンテナから放射した電磁波が鉄筋表面で反射して戻ってくる時間を計測し，その時間（t）を 2 で除した時間にコンクリート中の電磁波伝搬速度（V）を乗じて距離（ここではかぶり厚さ）を推定するものである。

その原理を応用して複数の経路を伝搬する時間の違いからかぶり厚さを推定する方法である。**図 A.3** に 2 経路の場合の伝搬概要図を示す。図中に示す送信 1 及び 2 の位置で電磁波を放射して反射波を受信 1 及び 2 で受信することを考える。ここで送信 1，送信 2，受信 1 及び受信 2 は一直線上に配置し，送受信の中心を一致させる。

経路 1（図中の実線）では，送信 1 から放射した電磁波がコンクリート中を伝搬し鉄筋表面で反射して受信 1 へ戻ってくる。この伝搬時間を t_1 とする。同様に，経路 2（図中の破線）のそれを t_2 とする。コンクリート中の伝搬速度 V が一定であると仮定すると，送信 1 から受信 1 及び送信 2 から受信 2 の伝搬経路では各々式（A.3）及び式（A.4）が成立する。反射点は鉄筋表面までの最短距離となる。かぶり厚さは，鉄筋直上において伝搬速度 V を変化させて，式（A.3）で求めた d_1 と式（A.4）で求めた d_2 が等しくなるまで収束演算を繰り返すことにより推定する。

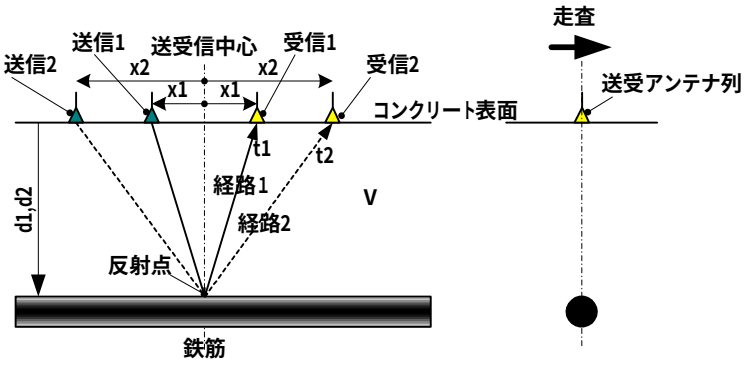


図 A.3―複数の伝搬経路から推定する方法（2 経路の例）

$$d_1 = \sqrt{\left(\frac{V \cdot t_1}{2}\right)^2 - x_1^{\,2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(A.3)}$$

$$d_2 = \sqrt{\left(\frac{V \cdot t_2}{2}\right)^2 - x_2^{\,2}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(A.4)}$$

ここで,　　d_1，d_2：　推定かぶり厚さ（cm）
　　V：　コンクリート中の電磁波伝搬速度（mm／ns）
　　t_1，t_2：　経路 1，2 の伝搬時間（ns）
　　x_1，x_2：　送受信間の距離の 1／2（mm）

附属書 B
（規定）
探査装置の機能及び性能

B.1　適用範囲

この附属書は，探査装置の機能及び性能について規定する。

B.2　機能

探査装置は，次の機能をもつものとする。

a)　探査方法

レーダ法による。探査方法の原理は，**附属書 A** を参考にする。

b)　アンテナ部

1)　送受信アンテナ

アンテナは，電磁波を送受する機能をもつ。

2)　走査距離の測定機能

内部に距離検出機能をもち，アンテナ部が移動した距離を検出する機能をもつ。

c)　演算処理部

1)　演算機能

反射波往復時間の測定値と，必要に応じて比誘電率を設定し，かぶり厚さを推定する演算機能をもつ。

画像を読み取りやすくするための，画像処理機能をもつ。

2)　表示機能

受信した信号，その信号に画像処理を加えたものなどを表示する機能をもつ。

3)　記録機能

内部メモリ，外部メモリなどにデータを記録する機能をもつ。

B.3　性能

探査装置の性能は，**表 B.1** による。

表 B.1―探査装置の要求性能

項目		要求性能
距離測定性能	装置の最小読み取り数値	5 mm 以下
	鉄筋位置の測定精度	±5 mm 以下
	走査距離の測定性能	走査距離 500 mm の範囲で±5 mm 以下で，走査距離が 500 mm 以上の場合誤差は±1%以内
	鉄筋間隔(ピッチ)の識別能力（走査方向の分解能）	かぶり厚さが 75 mm 未満の場合，75 mm 以下の鉄筋間隔が測定できること
		かぶり厚さが 75 mm 以上の場合，かぶり厚さの距離以下の鉄筋間隔が測定できること
かぶり厚さ測定性能	最小読み取り数値	3 mm 以下
	かぶり厚さの測定精度[1)]（許容誤差範囲）	かぶり厚さが 50～200 mm の範囲で誤差が±5 mm 以下
探査性能	必要探査深度	200 mm 以上

注[1)] ここでのかぶり厚さ測定精度は，装置としての性能であり，比誘電率が既知で，物性が安定している試験体を用いて測定したときの精度をいう。

附属書 C
（参考）
探査装置の特別点検及び日常点検の方法

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，探査装置の特別点検及び日常点検の手順について示す。

C.1　適用範囲

この附属書は，探査装置が正常に作動していることを確認するための点検内容，点検方法及びその結果の記録について記述する。

特別点検は，購入直後，定期点検直後又は修理直後に，探査装置の日常点検で用いる初期値を求める。

日常点検は, 点検結果が, 特別点検で得られた初期値に対して所定の範囲に入っていることを確認する。

C.2　目視点検及び動作確認

探査装置の損傷，距離検出部の動作，記録部の動作，ケーブル，コネクタなどの異常の有無を，目視又は動作確認で点検する。

C.3　性能確認

C.3.1　特別点検

a)　特別点検は，**附属書 D** に示す対比試験体などを用いて行う。

b)　鉄筋位置の特別点検は，対比試験体により，少なくとも浅いかぶり厚さと深いかぶり厚さについて，探査装置による鉄筋位置を求め，実際の鉄筋位置と測定の結果の誤差が**表 B.1** を満足していることを確認し，その測定値を鉄筋位置初期値とする。

c)　比誘電率は，かぶり厚さの実測値との誤差が最小になる値を求め，その値を対比試験体の比誘電率初期値とする。

かぶり厚さの特別点検は，対比試験体により，少なくとも浅いかぶり厚さと深いかぶり厚さについて，探査装置による推定かぶり厚さを求め，実際のかぶり厚さと測定の結果の誤差が，**表 B.1** を満足していることを確認し，その測定値をがぶり厚さ初期値とする。

d)　走査距離の測定性能の特別点検は，次の手順で行う。

1)　平らな面にあらかじめ探査装置の走査開始位置及び停止位置をマーキングする。マーキング間の距離は 500 mm 及び 1000 mm とする。

2)　探査装置を走査し，マーキング間の距離を読み取り，その誤差が，**表 B.1** を満足していることを確認し，その値を走査距離初期値とする。

C.3.2　日常点検

a)　日常点検は，**附属書 D** に示す対比試験体などを用いて行う。

b)　鉄筋位置の点検は，**C.3.1 b)**と同じ方法により鉄筋位置を求め，鉄筋位置初期値との誤差が**表 B.1** を満足していることを確認する。

c)　かぶり厚さの点検は，**C.3.1 c)**と同じ方法によりかぶり厚さを測定し，かぶり厚さ初期値との誤差が，

表 B.1 を満足していることを確認する。比誘電率は，比誘電率初期値を設定する。

d) 走査距離の点検は，**C.3.1 d)**と同じ方法により走査距離を測定し，走査距離初期値との誤差が，**表 B.1** を満足していることを確認する。

C.4 附属書 D 対比試験体（RB-R1）による性能確認の例

C.4.1 特別点検

RB-R1 対比試験体による鉄筋位置及びかぶり厚さの特別点検は，次の手順で行う。

a) 対比試験体は，少なくとも浅いかぶり厚さ（20～70 mm）及び深いかぶり厚さ（170～200 mm）の 2 種類を用いる。次の手順で鉄筋位置初期値及びかぶり厚さ初期値を求める。

b) 鉄筋位置初期値は，次の手順によって求める。

1) 対比試験体端部に探査装置をセットし，位置をマーキングする。

2) 探査装置をもう一方の端部まで走査し，測定終了位置をマーキングする。

3) 測定データ画像から，双曲線状の反射波形のピーク中央の鉄筋位置を求め，対比試験体上にマーキングする。この位置が，鉄筋位置初期

c) かぶり厚さの特別点検は，次の手順によってかぶり厚さの反射波往復時間を用いて行う。

1) 探査装置の動作モードを時間送り（フリーラン）モードで待機させる。

2) 対比試験体の中央に探査装置をセットし，約 5 秒後に鉄板（かね尺など）を挿入する。約 5 秒後に引き抜き，約 5 秒後に測定を終了する。

3) 測定データ画像から,鉄筋までの反射波往復時間を測定し,その値を反射波往復時間初期値とする。

C.4.2 日常点検

RB-R1 対比試験体による鉄筋位置及びかぶり厚さの日常点検は，次の手順で行う。

a) RB-R1 対比試験体を用い，同じ方法により鉄筋位置，鉄筋までの反射波往復時間を測定する。

b) 鉄筋位置と鉄筋位置初期値との誤差が**表 B.1** を満足していることを確認する。

c) 反射波往復時間測定値と反射波往復時間初期値との誤差が,式(C.1)を満足していることを確認する。

$$t_0 - \frac{\sqrt{\varepsilon}}{30} \le t \le t_0 + \frac{\sqrt{\varepsilon}}{30} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (C.1)$$

ここで，

t_0： 電磁波伝搬時間初期値（ns）

ε： 対比試験体の比誘電率

t： 日常点検による往復反射時間の測定値（ns）

C.5 点検結果の記録

点検結果の記録は，次による。

a) 特別点検の記録

1) 点検の年月日

2) 点検者の氏名

3) 点検の場所

4) 探査装置の番号

5) 使用した対比試験体の種類，個別の番号など

6) 点検の結果（各初期値）

b) 日常点検の記録

1) 点検の年月日及び時間

2) 点検者の氏名

3) 点検の場所

4) 探査装置の番号

5) 使用した対比試験体の種類，個別の番号など

6) 点検の結果（測定結果及び合否）

附属書 D
（参考）
対比試験体

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，探査装置の特別点検及び日常点検に用いる対比試験体について示す。

D.1 材料

材料は，比誘電率及び寸法が，点検における測定精度に影響を及ぼすことがないだけの安定性をもっているものとする。

注記 材料にコンクリートを用いる場合は，十分乾燥して含水率が安定した状態で用いる，また保管に当たっても含水率が変化しないようにする。

D.2 形状及び寸法

D.2.1 厚さ，長さ及び幅

探査装置の動作の確認に支障を及ぼさない範囲とする。

D.2.2 かぶり厚さ

測定結果の直線性が判断できるように，少なくとも 2 つのかぶり厚さをもつもの又は 2 種類の試験体とする。

D.2.3 表面仕上げ

測定精度に影響を及ぼすことがないように平滑に仕上げる。

D.3 対比試験体の例

対比試験体の一例 [1)]を**図 D.1** に示す（RB-R1 対比試験体）。

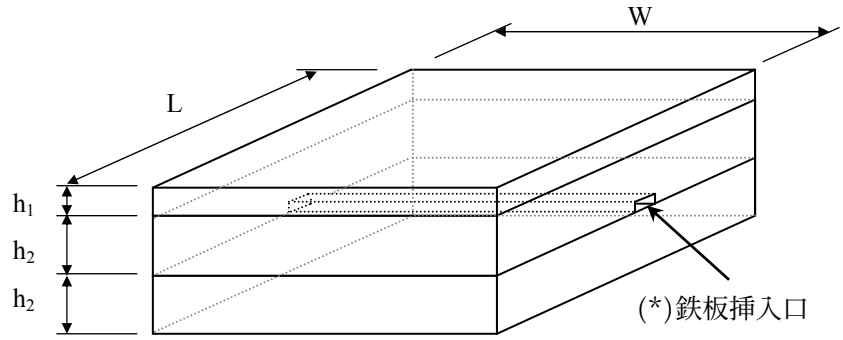
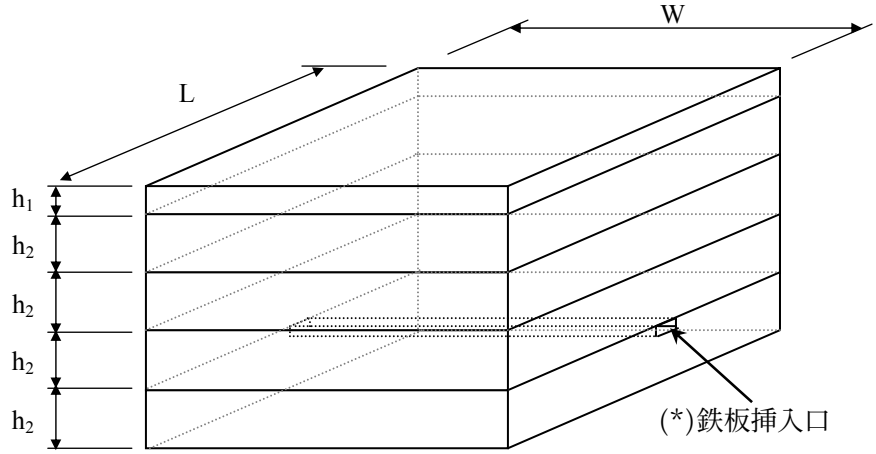
a) 材料は硬質塩化ビニルとする。

b) 形状は**図 D.1** とし，条件により各ピースの組み合わせとする。各ピースには記号を付け，特別点検と日常点検が同じ組合せになるようにする。

c) RB-R1 対比試験体の各寸法は**表 D.1** に定めるとおりとする。

d) 鉄板（金尺など）の材料の寸法は，幅 15 mm×長さ 320 mm 以上×高さ 2 mm とする。

参考文献 1) （社）日本非破壊検査工業会：検規 6502：2005

条件	形状
20 mm 以上 70 mm 以下	
170 mm 以上 200 mm 以下	

(*)鉄板挿入口スリット寸法(幅：16 mm 高さ：3 mm)

図 D.1―対比試験体（RB-R1）

表 D.1―対比試験体(RB-R1)の寸法

寸法(mm)			
W	*L*	h_1	h_2
300 以上	400 以上	20	50

附属書 E
（参考）
報告の様式例

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。

本規格に基づく調査結果の報告の例として，**E.1** から **E.4** に部材ごとに様式例を示す。

E.1　柱部材の様式例

NDIS 3429 に基づくかぶり厚さ・鉄筋位置探査結果（例）　　報告書番号：　　－

会社名			測定年月日	年　月　日　時		天候	
工事名称							
試験技術者		会社名：		担当者：		資格名・番号	
使用機器	装置本体	製造番号：		製造メーカー・型式：		名称	
	アンテナ	製造番号：		製造メーカー・種類：		登録番号	
定期点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：		
日常点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：		
測定モード							
探査部材・記号							
探査部材位置				探査箇所			

かぶり厚さ推定結果

探査面		北面	東面	南面	西面
構造図による配筋状況	主筋				
	せん断補強筋				
かぶり厚さ	測定点	推定値（mm）	推定値（mm）	推定値（mm）	推定値（mm）
	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
	8				
	9				
	10				
	11				
	12				
	13				
	14				
	走査線長さ				
	平均値				
	標準偏差				
	最大値				
	最小値				
	比誘電率				

鉄筋位置探査結果

北面	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	
東面	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	
南面	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	
西面	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	

仕上げ材の有無
留意事項

鉄筋位置図又は写真

E.2　梁部材の様式例

NDIS 3429 に基づくかぶり厚さ・鉄筋位置探査結果（例）　　報告書番号：　　－

会社名			測定年月日	年　月　日　時	天候	
工事名称						
試験技術者		会社名：		担当者：	資格名・番号	
使用機器	装置本体	製造番号：		製造メーカー・型式：	名称	
	アンテナ	製造番号：		製造メーカー・種類：	登録番号	
定期点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：	
日常点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：	
測定モード						
探査部材・記号						
探査部材位置				探査箇所		

かぶり厚さ推定結果

探査面		東側面	西側面	底面
構造図による配筋状況	主筋			
	せん断補強筋			
かぶり厚さ	測定点	推定値（mm）	推定値（mm）	推定値（mm）
	1			
	2			
	3			
	4			
	5			
	6			
	7			
	8			
	9			
	10			
	11			
	12			
	13			
	14			
	走査線長さ			
	平均値			
	標準偏差			
	最大値			
	最小値			
	比誘電率			

鉄筋位置探査結果

梁底面端部	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	
梁底面中央部	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	
梁上面端部	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	
梁上面中央部	主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	

仕上げ材の有無
留意事項

鉄筋位置図又は写真

E.3　壁部材の様式例

NDIS 3429 に基づくかぶり厚さ・鉄筋位置探査結果（例）　　報告書番号：　　－

会社名				測定年月日	年　月　日　時	天候	
工事名称							
試験技術者		会社名：		担当者：		資格名・番号	
使用機器	装置本体	製造番号：		製造メーカー・型式：		名称	
	アンテナ	製造番号：		製造メーカー・種類：		登録番号	
定期点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：		
日常点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：		
測定モード							
探査部材・記号							
探査部材位置				探査箇所			

かぶり厚さ推定結果

探査面		東側面	西側面
構造図による配筋状況	縦筋		
	横筋		
かぶり厚さ	測定点	推定値（mm）	推定値（mm）
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	走査線長さ		
	平均値		
	標準偏差		
	最大値		
	最小値		
	比誘電率		

鉄筋位置探査結果

東側面	単位長さ当たりの縦筋本数	
	単位長さ当たりの横筋本数	
西側面	単位長さ当たりの横筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	

仕上げ材の有無
留意事項

鉄筋位置図又は写真

E.4　床部材の様式例

NDIS 3429 に基づくかぶり厚さ・鉄筋位置探査結果（例）　　報告書番号：　　－

会社名			測定年月日	年　月　日　時	天候	
工事名称						
試験技術者		会社名：		担当者：	資格名・番号	
使用機器	装置本体	製造番号：		製造メーカー・型式：	名称	
	アンテナ	製造番号：		製造メーカー・種類：	登録番号	
定期点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：	
日常点検状況		実施日　　年　月　日		実施者：	点検結果：	
測定モード						
探査部材・記号						
探査部材位置				探査箇所		

かぶり厚さ推定結果

探査面		端部上面	中央下面
構造図による配筋状況	短辺		
	長辺		
かぶり厚さ	測定点	推定値（mm）	推定値（mm）
	1		
	2		
	3		
	4		
	5		
	6		
	7		
	8		
	9		
	10		
	11		
	12		
	13		
	14		
	走査線長さ		
	平均値		
	標準偏差		
	最大値		
	最小値		
	比誘電率		

鉄筋位置探査結果

端部上面	単位長さ当たりの主筋縦筋本数	
	単位長さ当たりの配力筋本数	
中央下面	単位長さ当たりの主筋本数	
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	

仕上げ材の有無
留意事項

鉄筋位置図又は写真

附属書 F
（参考）
カーブフィッティング法

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，カーブフィッティング法によるコンクリート内部の比誘電率を推定する手順について示す。

F.1　概要

カーブフィッティング法は，鉄筋からの反射画像が凸状の双曲線になることを利用し，その形状を評価することによって，比誘電率を推定する方法である。

F.2　比誘電率を求める手順

F.2.1　比誘電率を求める位置の選定

かぶりを測定する範囲の中央付近を走査し，鉄筋からの明瞭な反射画像が得られる位置を選定する。

F.2.2　測定手順

カーブフィッティング法は，次の手順で行う（**図 F.1** 参照）。

a) 鉄筋を走査し，明瞭な反射画像を計測する。

b) 反射画像に双曲線を表示させる。

c) 得られた反射画像の双曲線の頂点と，双曲線の頂点位置をあわせる。

d) 反射画像の双曲線の形状と，双曲線の形状とをあわせる。

e) 双曲線の形状から比誘電率を推定する。

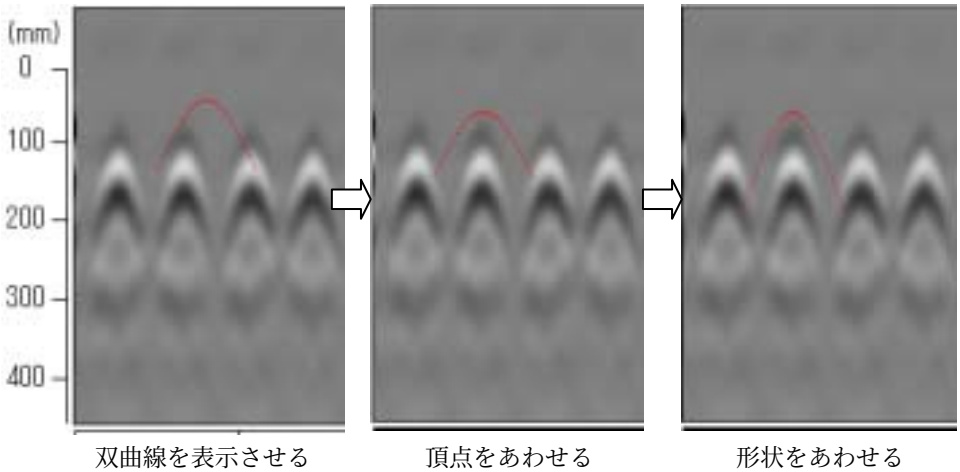


図 F.1－カーブフィッティング法の手順

注記　その他の操作に当たっては，探査装置の製造者発行の取扱説明書及び操作手順書などを参考にする。

附属書 G
（参考）
鉄筋径法

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，鉄筋径法によるコンクリート内部の比誘電率分布の推定及びその比誘電率分布を用いてかぶり厚さを計算する方法の手順について示す。

G.1　比誘電率分布の推定原理

鉄筋径法は，格子状に配筋されている縦筋と横筋のかぶり厚さの差が，本来コンクリート表面に近い鉄筋径に一致することを利用して，かぶり厚さの差が鉄筋径になるように比誘電率分布を推定し，探査対象鉄筋のかぶり厚さを算定する方法である。

G.2　比誘電率分布の推定手順

G.2.1　条件

鉄筋径法により比誘電率分布を推定するに当たって，次の 2 点の条件を仮定している。

a)　鉄筋径は既知である。

b)　縦筋と横筋は緊結されている。

G.2.2　比誘電率分布を推定する位置の選定

比誘電率分布を推定する位置は，含水状態が違う部位ごとに選定する。

G.2.3　比誘電率分布の推定手順

a)　探査装置の比誘電率を設定し，**図 G.1** のように縦，横を走査し，かぶり厚さを求める。

b)　**a)**と同じ操作を少なくとも 3 回繰返し行う。

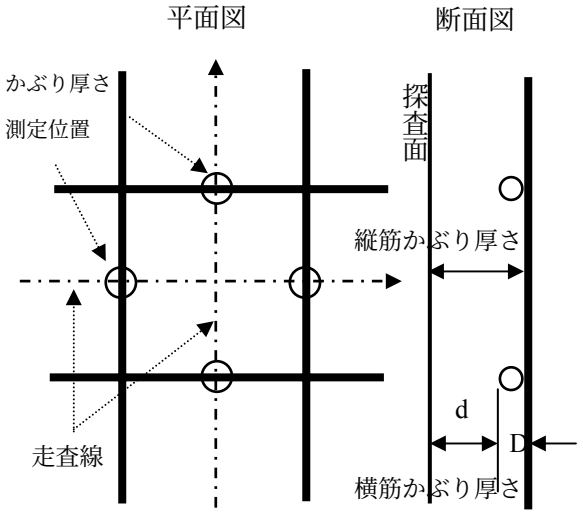


図 G.1―レーダの走査方法

G.2.4　比誘電率分布の計算方法

測定されたかぶり厚さから比誘電率の分布形状を適切な関数で仮定（**手順 1** 参照）し，かぶり厚さの差と鉄筋径が一致するような比誘電率分布を推定する（**手順 2** 参照）。

手順 1　比誘電率分布の仮定の例

比誘電率分布を式（G.1）と仮定（**図 G.2** 参照）する。ある位置で **G.2.3** の測定を行った結果。

$$\sqrt{\varepsilon(x)} = \frac{x}{\frac{1}{a}+\frac{x}{c-b}} + b \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(G.1)}$$

ここで，
- $\varepsilon(x)$：　比誘電率分布
- x：　コンクリート表面からの距離(mm)
- a，b，c：　パラメータであり，a は $x=0$ のときの接線の傾き，b は $x=0$ のとき（コンクリート表面）の比誘電率，c は $x=\infty$のときの比誘電率を表す係数

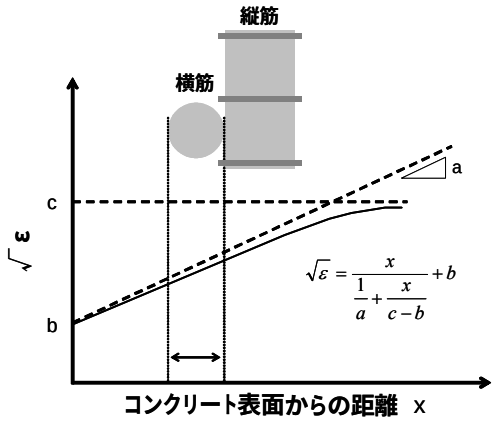


図 G.2—比誘電率分布の仮定

手順 2　比誘電率分布を推定する方法の例

比誘電率分布を式（G.1）と仮定した場合，あるかぶり厚さまでの伝搬時間は式（G.2）で表わされる。

$$\frac{T}{2} = \int \frac{dx}{C/\sqrt{\varepsilon(x)}} \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(G.2)}$$

ここで，
- T：　電磁波往復反射時間（ns）
- C：　空気中での電磁波伝搬速度（3×10^2 mm/ns）

式（G.2）に式（G.1）を代入することにより式（G.3）が求められる。

$$\frac{CT}{2} = cx - \frac{(b-c)^2}{a}\ln(ax-b+c) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots \text{(G.3)}$$

式（G.3）の T に ΔT を，x に（$D+d$）を代入して回帰することにより，係数 a，b，c 及び d が求められ，比誘電率分布が推定できる。

ただし，　ΔT：　縦筋（**図 G.1** 及び**図 G.2** の場合，コンクリート表面から遠い鉄筋）と横筋（**図 G.1** 及び**図 G.2** の場合，コンクリート表面に近い鉄筋）までの往復反射時間の差
d：　横筋までのかぶり厚さを表す係数
D：　横筋の径

G.3　かぶり厚さの計算

a)　電磁波が比誘電率分布のとおり伝搬したものとして，鉄筋位置までの反射波往復伝搬時間を計算する。

b)　計算した反射波往復伝搬時間が測定値に一致したときが，かぶり厚さの推定結果である（**手順 3** 参照）。

手順 3　比誘電率分布を仮定したときのかぶり厚さ算定の例

比誘電率分布を式（G.1）と仮定した場合，ある鉄筋位置のかぶり厚さは，その位置の鉄筋までの往復伝搬時間を式（G.3）の T に代入し，両辺が一致するときの x である。

附属書H
（参考）
実測法

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，実測によりコンクリート内部の比誘電率を推定する手順について示す。

H.1　概要

実測法は，鉄筋のかぶり厚さや部材の背面エコーなどの寸法を実測し，レーダ探査装置の設定誘電率と推定値並びに実測値から比誘電率を推定する方法である。

H.2　比誘電率を求める手順

H.2.1　比誘電率を求める位置の選定

かぶり厚さを求める範囲の中央付近を選定する。

H.2.2　対象寸法の計測

a) 探査装置の比誘電率を任意の値に設定し，計測を行って，対象寸法を推定する。

b) 鉄筋の実かぶり厚さを用いて比誘電率を求める場合は，探査された鉄筋位置に小径のコアなどにより削孔して鉄筋を露出させ，コンクリート表面から対象とする鉄筋上面までのかぶり厚さを実測する。

c) 部材の背面エコーを用いて比誘電率を求める場合は，開口部などを利用して対象とする部材厚さをメジャーなどを用いて実測する。

H.2.3　比誘電率の計算方法

比誘電率 ε_m は，式（H.1）により計算する。

$$\varepsilon_m = \varepsilon \cdot \frac{D^2}{D_m^{\,2}} \quad \cdots\cdots\cdots\

附属書 I
（参考）
データ処理

序文

この附属書は，本体に関連する事項を補足するもので，規定の一部ではない。ここでは，測定したデータを解析するために，ノイズが大きい場合はノイズを除去し，信号が小さい場合は信号を強調して，画面を見やすくするデータ処理方法を示す。

I.1 差分処理

I.1.1 適用

探査画像から，鉄筋からの反射がない位置の波形を差分することで，背景のノイズを除去し，鉄筋からの反射波のみを表示させ，鉄筋位置を明確にする方法。

I.1.2 減算処理の手順

a) 探査画像の鉄筋がない位置にカーソルを移動する。

b) 探査装置の差分処理機能を選択し，処理を実行する。

c) 差分処理画像が表示される。

I.2 信号強調処理（Sensitivity Time Control，STC）

I.2.1 適用

かぶりが深い鉄筋からの信号を強調して表示し，深い位置での探査画像を見やすくする方法。

L.2.2 信号強調処理（STC）の手順

a) 探査画像を表示する。

b) 探査装置の信号強調処理(STC)機能を選択し，処理を実行する。

c) 信号強調処理(STC)画像が表示される。

そのほかのデータ処理に当たっては，探査装置の製造者発行の取扱説明書，操作手順書などを参考にする。

NDIS 3429 : xxxx

電磁波レーダ法によるコンクリート構造物中の鉄筋探査方法
解　説

この解説は，本体及び附属書に規定･記載した事柄，参考に記載した事柄，並びにこれらに関連した事柄を説明するもので，規格の一部ではない。

この解説は，社団法人日本非破壊検査協会が編集･発行するものであり，この解説に関する問合せは，社団法人日本非破壊検査協会へお願いします。

1　制定の趣旨

コンクリート構造物において，部材中に鉄筋が適切に配置（配筋）されていることは，構造物の耐久性や構造安全性，耐火性などを確保する上で極めて重要である。既設の構造物の性能を評価する上でも，コンクリート中の鉄筋の位置を把握することは，評価を行う上での重要な指標となる。しかしながら，鉄筋の位置には一定程度の施工上のばらつきが生じることは不可避であり，配筋の過密さなどからも適切な位置に配筋が行われていない場合もある。このような背景から，近年土木構造物や建築物の品質管理や維持管理において，鉄筋の位置を把握し検査や診断を行う場合も増えてきている。

鉄筋探査には，はつりによる方法及び非破壊試験による方法があるが，構造物への損傷や測定範囲の広さなどの点から，非破壊試験による方法が一般に行われている。非破壊試験による方法には，主に電磁誘導法及び電磁波レーダ法があるが，測定対象となるコンクリートの状態，配筋の状態，測定装置及び試験技術者の技量などに起因する測定誤差があり，数 10 mm というオーダーのかぶり厚さを評価する上でこれらの測定誤差は無視できない。しかしながら，鉄筋探査の方法としての標準化が行われている例は少なく，探査方法の規格化が望まれていた。この規格は，非破壊試験方法のうち，特に電磁波レーダ法による鉄筋探査の方法について，試験技術者，探査装置，探査方法及び報告事項に関する標準的な方法などを定めたものであり，非破壊試験による鉄筋探査の結果の信頼性向上を目指したものである。

2　制定の経緯

電磁波レーダ法による鉄筋探査の方法の標準化は，旧通商産業省より委託を受けた（財）日本建材産業協会（当時）が 1995 年～2000 年に試験・調査を行い，その成果を 2003 年に日本建材産業協会規格 **JCMS-Ⅲ B5707** ”電磁波レーダ法によるコンクリート中の鉄筋位置の測定方法 ”に始まる。また，その他の学会・団体などでも，近年，**解説表 1** のように鉄筋探査の方法に関する規格化が取り組まれている。（社）日本非破壊検査協会においては，（独）土木研究所と 1999 年より“非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究”を実施し，非破壊試験による鉄筋探査の方法，精度向上に向けた検討を行ってきた。この規格は，これまでに提案されてきた規格や研究の成果などを踏まえ，現在の探査装置の性能や探査方法の実態を考慮した上で，より実務において活用される規格を作成すること，並びに今後の鉄筋探査技術が発展することなどを目指して，新たに日本非破壊検査協会規格として制定することにした。

解説表 1ー配筋･かぶり厚さ測定に関する規格の現状

	電磁波レーダ法	電磁誘導法
英国規格協会（BS）		**BS 4408** “ Recommendations on the use of electromagnetic covermeters ”（現在は，**BS 1881** Part204:1988 に置き換え）
（独）鉄道建設・運輸施設整備支援機構		鉄筋コンクリート構造物検査マニュアル（案）（2004）
（財）鉄道総合技術研究所	鉄道構造物など維持管理標準・同解説（構造物編）コンクリート構造物（2007）	
建産協規格	レーダ　JCMS-Ⅲ　B5707-2003	電磁誘導　JCMS-Ⅲ　B5708-2003
東・中・西日本高速道路(株) NEXCO	コンクリート施工管理要領 2004	
国土交通省	非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領(案)2009	
(社)日本建築学会		JASS 5 T 608（2009）
(社)日本非破壊検査工業会	コンクリート中の配筋探査に使用する装置についての規格 検規 6502（2008） 認証制度　検規 6501（2008）	

3　審議中に問題となった事項

a)　かぶり厚さの定義

審議中に問題となった事項としては，土木分野で用いられている“ かぶり ”と建築分野で用いられている“ かぶり厚さ ”の用語の統一，及び異形鉄筋の場合の“ コンクリート表面から対象とする“ 鉄筋表面 ”までの最短距離 ”を明確にすることであった。現在,“ かぶり ”又は“ かぶり厚さ ”に関する用語及び定義は，**解説表 2** のようになっており，両者は同義で用いられている。この規格では,“ かぶり ”は鉄筋の保護あるいは鉄筋とコンクリートと力学的な一体性の確保のために，鉄筋の外側に設けられた部材の一部であり，かぶりを構成するコンクリートを指し,“ かぶりコンクリート ”のように使用する。コンクリート表面から対象とする鉄筋表面までの最短距離は長さを表しており,“ かぶり厚さ ”と呼ぶこととした。

異形鉄筋の場合の“ 鉄筋表面 ”に関しては, 鉄筋の節と節の間の“ 谷 ”, 節又はリブの上面である“ 山 ”あるいは“ 公称径 ”とする意見があった。電磁波レーダの測定原理から，検知される鉄筋表面はリブ

解説表 2―かぶり及びかぶり厚さに関する用語の定義

	用語	定義
JIS A 0203:2006 コンクリート用語	かぶり（鋼材の） かぶり厚さ（鋼材の）	鋼材、シースなどの表面とそれらを覆うコンクリートの外側表面までの最短距離。
JIS Z 2300 非破壊検査用語	かぶり（鋼材の－） かぶり厚さ（鋼材の－）	コンクリート表面から対象とする鋼材、シースなどの表面までの最短距離。
2007 年制定コンクリート標準示方書設計編 （社）土木学会	かぶり	鉄筋あるいは緊張材やシースの表面とコンクリート表面の最短距離ではかったコンクリートの厚さ。
JASS5 鉄筋コンクリート工事 2009 （社）日本建築学会	かぶり厚さ	鉄筋表面からこれを覆うコンクリートの表面までの最短距離。
検規-6502:2008　（社）日本非破壊検査工業会	かぶり（厚さ）	測定位置の表面から鉄筋の表面までの最短距離。異形鉄筋の場合、測定位置の表面から鉄筋の谷までの距離である。

又は節の上面である。また，リブ又は節の上面は，施工時にスペーサに設置される面及び装置の点検時に検知される面であること，さらには測定結果が安全側になることから，定義のとおり“最短距離”となるリブ又は節の上面までを“鉄筋表面”とした。

b) 探査装置の機能・性能

探査装置の性能は測定精度に大きく関わることであり，装置間の相違もあるところであるが，この規格においては，必要とされる最低限の性能を**附属書 B** に示すにとどめ，今後の装置の発展を妨げないことを考慮した（電磁誘導と同じ）。

c) 点検

点検の考え方については，装置製造者又は代理者が実施する定期点検と試験技術者が実施する特別点検及び日常点検を規定した。さらに日常点検は，試験開始時点検，試験中点検及び試験終了時点検を規定した。

定期点検は，探査装置の機能及び性能を確認し，必要応じて調整を行う。定期点検の方法及び定期点検に用いる標準試験体の規定も検討した。しかし，製造者や装置の構造によって点検方法が異なることから，規定するまでには至らなかった。

特別点検は，定期点検後の初期値を対比試験体によって把握しておく。

日常点検は，探査装置の動作確認を行い，試験結果に問題がないことを，特別点検によって求めた初期値と比較することによって確認する。また，日常点検の結果の変化（指示値の変化，ばらつきなど）を確認することにより，早期に装置の異常などが発見できるようにした。このようにすることにより，装置を早期に調整又は修理の必要性がわかるようにした。

d) 比誘電率

コンクリートの比誘電率は，コンクリートの含水状態に大きく左右され，その時のコンクリートの状態やコンクリート表面から内部に向かっても異なっている。そのため，この規格では，ある程度実績のあるコンクリート内部の比誘電率を推定する方法として，**附属書 F**“カーブフィッティング法”，**附属書 G**“鉄筋径法”，**附属書 H**“実測法”を参考として示した。

e) 報告事項

報告事項については，探査装置の性能や個々の設定，仕様などに違いがあること，探査箇所や条件によって得られる結果が異なる可能性があることなどから，再現性の高い探査を行うための規格上の対応として，報告の内容が重要であると考え，報告事項の充実を図り，**附属書 E** において様式例を示すことなどで対処した（電磁誘導と同じ）。

4 適用範囲（箇条 1）

この規格の適用範囲としては，以下のとおりである。

a) 探査の対象は，かぶり厚さの定義からコンクリート表面に最も近い鉄筋のみである。対象とする鉄筋は，**JIS G 3112** 及び **JIS G 3117** に規定される丸鋼および異形鉄筋の両方としている。鋼製シース，鉄骨及びその他の磁性体の探査は対象としていないが，この規格を準用することができる。

b) 探査装置の発展は目覚しいものであり，性能も大きく向上していくことが予想される。そのため，この規格では，探査深さの適用範囲については特に設けなかった。

c) モルタル，タイルなどの仕上げ材がある場合のかぶり厚さの測定は，仕上げ材の厚さ及びコンクリートのかぶり厚さの測定が必要である。そのためには，両者の反射波往復時間及び比誘電率を推定する必要がある。しかし，両者を分離して反射波往復時間及び比誘電率を推定する方法は，現状ではない。

そのため，仕上げ材がある場合，鉄筋の平面位置のみの測定とし，かぶり厚さについては参考値とした。

d) 電磁波レーダを用いて，コンクリート中の空洞などの検出も可能ではあるが，この規格では規定していない。

5　規定項目の内容

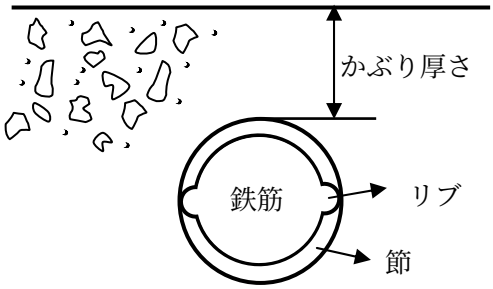
5.1　引用規格（箇条 2）

この規格において引用した規格は，非破壊試験及びコンクリートの用語として規定されている **JIS** 規格並びに対象となる鉄筋の規格である **JIS G 3112** “ 鉄筋コンクリート用棒鋼 ” 及び **JIS G 3117** “ 鉄筋コンクリート用再生棒鋼 ” である。なお，**JIS G 3117** については，現在では新設の構造物に適用される例は少ないと思われるが，既設の構造物に使用されている場合があることなどから探査の対象の鉄筋として引用した。

5.2　用語及び定義（箇条 3）

a)　かぶり厚さ

解説図 1 に異形鉄筋の場合のかぶり厚さを示す。本体の **3.5** の定義のとおり，コンクリート表面からの最短距離となる鉄筋表面，すなわち異形鉄筋ではリブ又は節の上面の位置からコンクリート表面までの距離である。



解説図 1—異形鉄筋の場合のかぶり厚さの定義

b)　比誘電率

比誘電率は，**3.6** の定義のとおり，媒体の誘電率と真空の誘電率の比である。**附属書 A** のとおり，かぶり厚さの推定に重要である。

c)　対比試験体

対比試験体は, 特別点検における初期値を得るため, 及び日常点検において随時使用することから，材質及び寸法が安定している材料を用いる。また，できる限り持ち運びできることが望ましい。

コンクリートを対比試験体に用いる場合は，よく乾燥させ，比誘電率が安定していることを確認して使用する。その際，対比試験体の比誘電率を用いて，構造体の比誘電率としてはならない。

対比試験体の大きさは，上記のとおり持ち運びできるようにできる限り小さくできるとよいが，側面からの反射など点検結果に影響しない程度とする。

d)　基準線

探査位置の基準となる線のことを指し，X 軸，Y 軸の 2 つを定める。基準線は走査線の設定や探査結果の報告においても必要となり，探査の精度を左右するものであるため，探査に先立って定め，できるだけ正確にその位置を記録しておく。

e)　走査線

アンテナを走査する場合の走査方向の基準となる線のことを指す。探査の精度を確保するため，走査線は探査対象とする鉄筋に対して直交する方向となるように定める必要がある。

5.3　探査原理（箇条 4 及び附属書 A）

電磁波レーダの原理は，現在広く用いられているレーダと基本的に同じである。コンクリート用の電磁波レーダは，インパルス状の電磁波をコンクリート内へ送信アンテナから放射した場合，電磁波がコンクリートと電気的性質（比誘電率・透磁率）の異なる物質（鉄筋・埋設管など）との境界面で反射する。その反射波を受信アンテナで受信し，それにかかる往復の伝搬時間から反射物体までの距離を計算すると異なる物質までの位置を推定することができる。探査原理に関しては，**附属書 A** に示す。

5.4　試験技術者（箇条 5）

電磁波レーダ法によって鉄筋探査を行う試験技術者は，測定原理及び探査装置に関する知識並びに鉄筋コンクリート構造に関する知識をもっていなければならない。

鉄筋探査に関する資格制度として，**JIS** 及び（社）日本非破壊検査協会による技術認証制度などの資格制度はないことから，この規格においては，試験技術者に必要な資格などを定めることはしていない。現状では，各種団体による技能講習，認定制度などが**解説表 3** のように開催されているので，参考に示す。

また，試験技術者に必要な知識として，特に電磁波レーダ法においては探査結果がコンクリートの状態や配筋状態の影響を受けやすいことから，探査装置及び探査原理に関する知識に加えてコンクリートの性質及び鉄筋コンクリート構造に関する知識が不可欠である。参考として，コンクリート又は／及び鉄筋コンクリート構造に関連する資格などを**解説表 4** に示す。

解説表 3－試験技術者として関連する資格など

認定団体	電磁波レーダ	電磁誘導
（社）日本非破壊検査工業会	コンクリート構造物の配筋探査技術者資格認証	
		鉄筋コンクリート造建築物の電磁誘導法による鉄筋位置測定技術者講習会
（財）日本建築総合試験所		電磁誘導法によるコンクリート中の鉄筋位置測定技術者認定
（財）建材試験センター		電磁誘導法による鉄筋探査測定実務講習会

解説表 4―鉄筋コンクリート構造に関連する資格など

認定団体	コンクリート又は／及び鉄筋コンクリート構造に関連する資格など
（社）日本コンクリート工学協会	コンクリート診断士
	コンクリート技士・主任技士
（社）プレストレストコンクリート技術協会	コンクリート構造診断士
文部科学省	技術士（建設部門）
国土交通省	1 級・2 級建築士
	1 級・2 級土木施工管理技士
	1 級・2 級建築施工管理技士

5.5　探査装置（箇条 6）

5.5.1　探査装置の構成（6.1）

装置の構成は，製造者によってはアンテナ部及び演算処理部が 1 つの筐体に収まっているものもある。

現在使用されている電磁波レーダ探査装置は，送信される電磁波の中心周波数が数百 MHz～数 GHz のものが一般的である。

5.5.2 探査装置の機能及び性能（6.2 及び附属書 B）

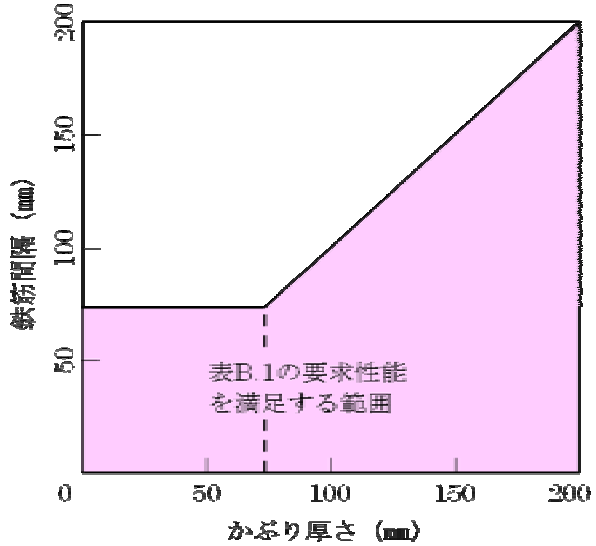
附属書 B に示す探査装置の要求性能は，現在使用されている主な機種が満足できるものとなっている。ただし，この要求性能の下限値程度の性能では，測定できない構造物・部材が少なくないため，より性能の高い装置が望まれている。そのため，要求性能は，“ ±○○ mm 以下 ” と記述しているとおり，将来，性能が向上した装置を包含できるようになっている。

例えば，“ 鉄筋間隔（ピッチ）の識別能力 ” について説明する。この項目の要求性能は，**解説表 5** に，製造者仕様の記述と，この規格の記述が逆になっている。特定の装置の性能を示す場合，“ かぶり厚さが 75 mm 未満の場合 ” には “ 75 mm 以上の鉄筋間隔が測定できる ” と記述することに問題はない。しかし，不特定多数の装置に対する規格の場合，製造者仕様のような記述をした場合，装置の性能の上限が “ 75 mm 以上 ” であればよいことになるため，上限が “ 100 mm ” や “ 200 mm ” の装置であっても，その規格を満足していることになり，性能の低い装置を容認することになる。このようなことにならないように，今後，性能の向上を目指すように，この規格では “ かぶり厚さが 75 mm 未満の場合 ” には “ 75 mm 以下の鉄筋間隔が測定できる ” とし，“ かぶり厚さが 75 mm 以上の場合 ” には “ かぶり厚さの距離以下の鉄筋間隔が測定できる ” こととしている。これをグラフに表すと**解説図 2** のようになる。**解説図 2** の太線の線上又はそれより下の部分が上限となる装置がこの規格を満足する装置である。

解説表 5ー製造者仕様とこの規格の要求性能の比較

項　　目	製造者仕様の例	この規格の要求性能
鉄筋間隔（ピッチ）の識別能力（走査方向の分解能）	かぶり厚さが 75 mm 未満の場合，75 mm 以上の鉄筋間隔が測定できること。	かぶり厚さが 75 mm 未満の場合，75 mm 以下の鉄筋間隔が測定できること。
	かぶり厚さが 75 mm 以上の場合，かぶり厚さの距離以上の鉄筋間隔が測定できること。	かぶり厚さが 75 mm 以上の場合，かぶり厚さの距離以下の鉄筋間隔が測定できること。

単位　mm



解説図 2ー鉄筋間隔の識別能力の範囲

5.5.3　探査装置の点検（6.3，附属書 C 及び附属書 D）

探査装置の点検は，装置製造者又は代理者が実施する定期点検並びに試験技術者が実施する特別点検及び日常点検を規定し，さらに日常点検は，試験開始時点検，試験中点検及び試験終了時点検を規定した。

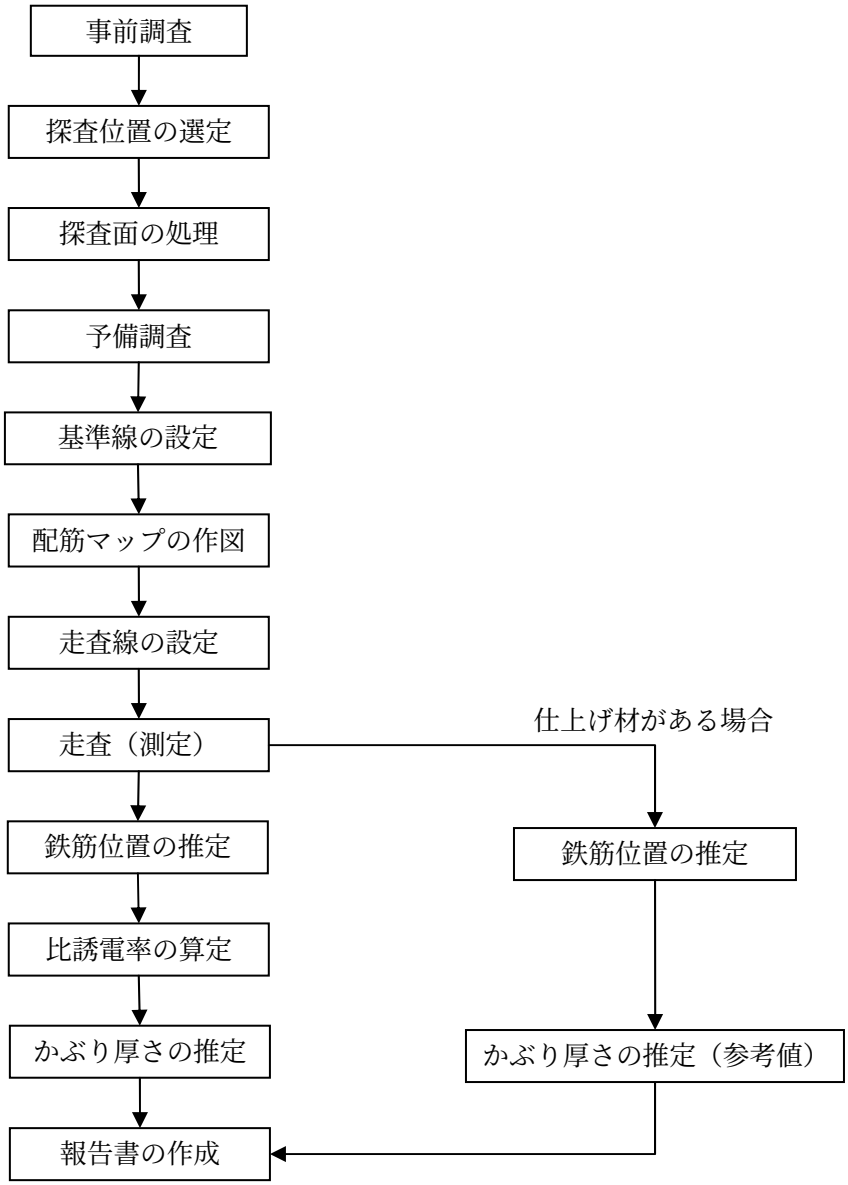
定期点検は，探査装置の機能及び性能を確認し，必要な性能を満足しているかを確認するためのものである。定期点検の頻度は製造者などによって推奨される頻度が異なることから，この規格においては定期的に実施するという記述とした。また，装置製造者又は代理者は，定期点検において，製造者などが保有する標準となる試験体を用い，装置の変化を継続的に確認できるようにしなければならない。

特別点検は，製造者出荷時，修理後又は定期点検後の性能を基準として，そこからの変化を見ることで性能を保証することを目的にしている。そのために，日常点検に用いてる各初期値を得るために行う。

日常点検は，探査装置の動作を確認し，特別点検で得られた初期値からの変化を見ることで，試験結果に問題がないことを確認するために行うものである。特別点検及び日常点検の方法は，附属書 C を参考に実施し，所定の性能を満足していることを確認する。

5.6　探査方法（箇条 7）

電磁波レーダ法による探査フローを解説図 3 に示す。



解説図 3―電磁波レーダ法による探査フロー

5.6.1 事前調査（7.1）

鉄筋探査を行うに当たって事前調査を行い，対象とするコンクリート構造物の構造形式，形状・寸法，配筋などの測定条件を確認し，計測計画を立案することが精度の良い鉄筋探査を行ううえで重要である。

コンクリート材料には，鋼繊維補強コンクリートのように電磁波レーダによる鉄筋探査の妨げとなるような材料が使用されている場合もあるため，コンクリートの配合なども確認できると良い。

また，配管などの埋込み金物がある場合には，鉄筋と誤って判別する恐れがあるため，事前に埋込み金物の有無を確認しておくことが重要である。補修・補強が行われている場合は，構造物の形状・寸法が変更されていることがあるため，資料を収集して確認を行う。

5.6.2 探査位置の選定（7.2）

探査位置は，コンクリート構造物の構造形式や形状・寸法を考慮し，鉄筋探査の目的に応じて適切な箇所を選定する。また，事前調査による鉄筋の間隔やかぶり厚さなどの情報から適切な探査装置を選定し，

必要とされる探査断面（走査線）数を計画するとよい。

5.6.3　予備調査（7.3）

a)　探査面の処理

探査を良好に実施するため，探査面（コンクリート表面）の金属や水分など，測定に影響を与えるものが存在する場合にはこれらを除去する。探査面にモルタルやタイルなどの仕上げ材がありこれらを除去できない場合には，鉄筋位置の推定は可能であるが，仕上げ材とコンクリートとの比誘電率が異なるため，かぶり厚さの推定は困難であるため参考値とすることとした。特に雨掛り部にあるモルタル仕上げは，含水状態の影響が大きいために比誘電率が変化しやすく，かぶり厚さの推定では誤差が大きくなるため注意が必要である。

電磁波レーダ法は, 電磁波が誘電率の異なる物体の境界面で反射する性質を利用した手法であるが, 探査面に金属が存在する場合には，電磁波は金属面で反射してしまいコンクリート内部へは伝搬しない。また，脱型直後や雨天直後など，コンクリート内に水分が多く含まれている場合，測定が困難になったり，比誘電率が異なることにより測定誤差の要因となったりする場合がある。

探査面が平滑ではない場合や土砂などの堆積がある場合，探査装置のエンコーダ（車輪）の滑りや空転により距離測定に誤差を生じることがある。このため，探査面に測定に影響をあたえるものが存在する場合にはこれらを除去する必要がある。

b)　予備調査

1)　基準線の設定

探査面の探査範囲内に予想される鉄筋の軸方向にあわせて，直交する 2 本の基準線（X，Y 軸）を定め，マーキングする。

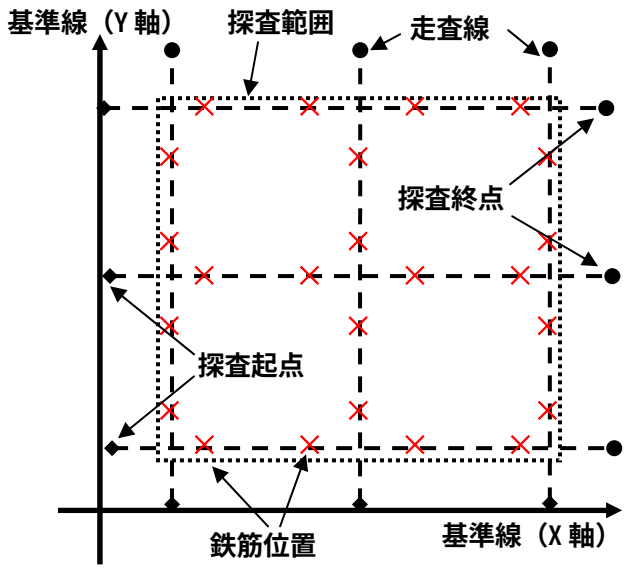
後述のように走査線を探査範囲より長く設定する必要があるため，基準線は**解説図 4** のように，探査範囲よりも大きく設定すると良い。ただし，探査範囲が部材端部や隅角部など基準線を探査範囲より大きく設定することが困難な場合は，部材の形状寸法を考慮して基準線の位置を工夫するなど，なるべく大きく設定できるようにする。また，スラブと壁，柱と梁などの隅角部では探査装置がコンクリート表面に当たってしまうため，電磁波が送受信できない範囲では測定できないことに留意する必要がある（**解説図 5** 参照）。

2)　走査線の設定

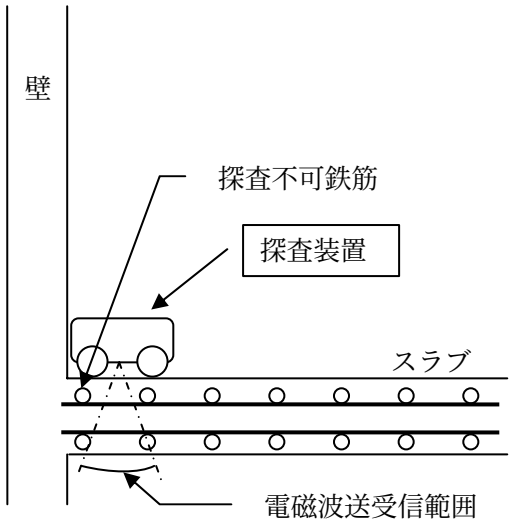
電磁波レーダ法は，鉄筋からの反射波画像が放物線状になることを利用し，反射時間が最短となる位置から鉄筋位置を判別することから，鉄筋位置の探査には鉄筋前後の画像が必要とされる。仮に探査範囲の端部に鉄筋が存在した場合，鉄筋範囲内のみを走査対象とすると探査範囲端部に存在する鉄筋を見逃す恐れがある。このため走査線は，走査線内に探査範囲を含むよう走査線および測定起終点を設定する。ただし，測定範囲が部材端部などの場合は，測定起終点が探査範囲の縁端となることがあるため，探査装置の向きなどを工夫して端部まで測定できるようにする。

3)　鉄筋位置のマーキング

走査線に沿って走査を行い，測定長と走査線長が探査装置の距離測定誤差の範囲内であることを確認する。測定長が誤差範囲外の場合は，鉄筋位置の探査結果に誤差を生じるため走査をやり直す必要がある。鉄筋の探査結果から鉄筋位置をマーキングする。



解説図 4―予備調査

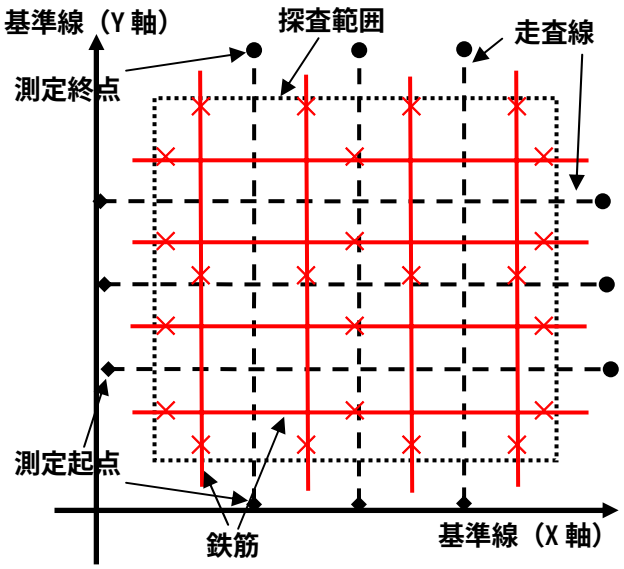


解説図 5―隅角部における探査不可範囲（例）

c) 鉄筋位置の作図および走査線の設定

鉄筋位置のマーキング点を結び，配筋マップを作図する。配筋マップから配筋状態を確認し，かぶり厚さ測定のための走査線を，**解説図 6** のように鉄筋間の中間かつ測定対象鉄筋に直交するよう走査線を設定する。

これは，走査線に平行な鉄筋近傍で走査した場合に，鉄筋の影響を受け，鉄筋の判別が難しくなるためである。



解説図 6―鉄筋位置の作図および走査線の設定

5.6.4　比誘電率の算定（7.4）

比誘電率の算定方法は，複数の方法が提案されており，ここでは 3 つの方法を**附属書 F**（カーブフィッティング法），**附属書 G**（鉄筋径法），**附属書 H**（実測法）として参考に示した。また，その他検証された方法を用いて算定を行なってもよいこととした。

比誘電率は，コンクリート中の含水率によって変化する。そのため，コンクリート打込み材齢，構造物・部材の向きなどによって含水率が異なり，比誘電率も異なることから，このように含水率が異なると考えられる部位で比誘電率を算定する。

5.6.5　走査方法（7.5）

走査の際に最も注意すべき点は，アンテナを探査面から浮かせたり，探査面上を滑らせたりせずに，探査面に対して平行に走査することにある。

探査装置はエンコーダ（アンテナ車輪部）により水平距離を測定し，等間隔で電磁波を送信している。アンテナを探査面から浮かせたり，滑らせたりして車輪が無回転となった場合，距離計測が行なわれずに電磁波が送信されないままアンテナが移動してしまい鉄筋が探査されなかったり，測定距離が実際の走査距離に対して短くなって鉄筋位置の計測に誤差を生じたりする原因となる。逆にアンテナが浮いた状態で車輪が空転した場合には，アンテナが移動していなくても電磁波が送信されてしまい，鉄筋の判別が困難になったり，実際の走査距離に対して測定距離が長くなったりして鉄筋位置の推定に誤差を生じる原因となる。

また，アンテナは前進，後退いずれの方向に移動させても計測距離が加算されるため，一方向に移動させなければ鉄筋位置の計測に誤差を生じ，同じ鉄筋を複数回検出する原因となる。

このため，走査終了時に探査装置の走査距離と走査線の実測距離との比較を行い，その距離の差が誤差範囲内であることを確認することとした。走査距離が誤差範囲外の場合は，そのデータの使用を中止し，走査をやり直すこととしている。

5.7　鉄筋位置及びかぶり厚さの推定（箇条 8）

計測された画像および反射波形から，反射時間が最小となる位置を鉄筋位置とし，その時間と比誘電率

からかぶり厚さを算定する。

波形が見えにくい場合は，**附属書 I** などによってデータ処理を行い波形を見やすくしたうえで，反射時間と位置を求める。

探査装置本体で，鉄筋位置およびかぶり厚さがデータ表示される場合は，それを利用してもよいこととしている。

5.8　報告（箇条 9 及び附属書 E）

報告の内容には，探査業務の実施記録，探査結果の検証のための事項，探査の参考となる事項とに分類される。

このうち，探査業務の記録および探査結果の検証のための項目を「8.1 必ず報告する事項」とし，探査の参考となる事項は「8.2 必要に応じて報告する事項」とした。

また，参考として**附属書 E**（報告の様式例）を示している。必要に応じて項目を追加し，様式を変更するなどして理解しやすい報告様式とするとよい。探査依頼者が指定した様式がある場合は，指定の様式を使用して報告する。

附属書 E では，報告書の様式例を柱，梁，壁及び床のそれぞれについて示した。この様式への記入例として，**解説表 6** に柱部材の場合及び**解説表 7** に壁部材の場合を示す。探査結果の報告に当たっては，これらの様式例及び記入例を参考に，探査対象となる構造物及び探査の目的に応じて修正して用いるとよい。

解説表 6―報告書様式の記入例（柱部材）

NDIS 3429 に基づくかぶり厚さ・鉄筋位置探査結果（例）　　報告書番号：　　―

会社名			測定年月日	年　月　日　時		天候	
工事名称							
試験技術者		会社名：		担当者：		資格名・番号	
使用機器	装置本体	製造番号：		製造メーカー・型式：		名称	
	アンテナ	製造番号：		製造メーカー・種類：		登録番号	
定期点検状況		実施日　年　月　日		実施者：　○機器製造会社		点検結果：**附属書 A** に適合	
日常点検状況		実施日　年　月　日		実施者：　○○調査会社		点検結果：**附属書 B** に適合	
測定モード		B モード					
探査部材・記号		5 階柱・C3					
探査部材位置		X3-Y6 通り		探査箇所	各々の面で床上 250 mm 起点，上方に探査		

かぶり厚さ推定結果

探査面		北面	東面	南面	西面
構造図による配筋状況	主筋	D35×5 本	D35×5 本	D35×5 本	D35×5 本
	せん断補強筋	D13@100	D13@100	D13@100	D13@100
かぶり厚さ	測定点	推定値（mm）	推定値（mm）	推定値（mm）	推定値（mm）
	1	40	50	44	60
	2	38	52	45	61
	3	41	53	43	62
	4	40	55	44	60
	5	39	54	45	63
	6	40	52	46	64
	7	42	50	45	64
	8	41	49	46	65
	9	39	50	44	66
	10	47	51	43	64
	11	51	50	42	65
	12				
	13				
	14				
	走査線長さ	1100 mm	1100 mm	1100 mm	1100 mm
	平均値	42	51	44	63
	標準偏差	3.9	1.9	1.3	2.1
	最大値	51	55	46	66
	最小値	38	49	42	60
	比誘電率	7.6	7.9	7.6	7.7

鉄筋位置探査結果

北面	主筋本数	5
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	10 本／m
東面	主筋本数	5
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	10 本／m
南面	主筋本数	5
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	10 本／m
西面	主筋本数	5
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	10 本／m

仕上げ材の有無
仕上げ材無し

留意事項
セパレータは適用対象外とした西面のかぶり厚さの測定値はモルタル仕上げの厚さを含んだ値。
比誘電率は**附属書 G** 鉄筋径法により求めた。

鉄筋位置図又は写真

解説表 7―報告書様式の記入例（壁部材）

NDIS 3429 に基づくかぶり厚さ・鉄筋位置探査結果（例）　　報告書番号：　　―

会社名			測定年月日	年　月　日　時	天候	
工事名称						
試験技術者		会社名：		担当者：	資格名・番号	
使用機器	装置本体	製造番号：		製造メーカー・型式：	名称	
	アンテナ	製造番号：		製造メーカー・種類：	登録番号	
定期点検状況		実施日　年　月　日		実施者：　○機器製造会社	点検結果：**附属書 A** に適合	
日常点検状況		実施日　年　月　日		実施者：　○○調査会社	点検結果：**附属書 B** に適合	
測定モード		B モード				
探査部材・記号		5 階壁・W15				
探査部材位置		X3 通り，Y2-Y3 間	探査箇所	各々の面で床 1000 mm 上，Y2 側 250 mm 起点，Y3 方向に探査		

かぶり厚さ推定結果

探査面		東側面	西側面
構造図による配筋状況	縦筋	D10@200	D10@200
	横筋	D10@200	D10@200
かぶり厚さ	測定点	推定値（mm）	推定値（mm）
	1	42	43
	2	40	43
	3	41	43
	4	33	44
	5	41	44
	6	39	44
	7	34	44
	8	36	43
	9	36	44
	10	36	40
	11		
	12		
	13		
	14		
	走査線長さ	1100 mm	1100 mm
	平均値	38	43
	標準偏差	3.2	1.2
	最大値	42	44
	最小値	33	40
	比誘電率	6.7	6.5

鉄筋位置探査結果

東側面	単位長さ当たりの縦筋本数	5 本／m
	単位長さ当たりの横筋本数	5 本／m
西側面	単位長さ当たりの横筋本数	5 本／m
	せん断補強筋単位長さ当たりの本数	5 本／m

仕上げ材の有無
仕上げ材無し

留意事項
縦筋表面側。
比誘電率は**附属書 H** 実測法の背面エコーを用いて求めた。

鉄筋位置図又は写真

5.9　附属書 F

附属書 F では，鉄筋間隔が広く明瞭な反射画像で説明した。実際の現場計測で得られる反射画像は，複雑な配筋やピッチが狭いなど，明瞭な双曲線画像が得られない場合，作業者の経験や技量に負うところが多い。

5.10　附属書 G

附属書 G では，格子状に配筋された縦筋と横筋のかぶり厚さの差が，コンクリート表面に近い鉄筋の径になることを利用した方法である。また，コンクリート内部の含水状態を考慮して，比誘電率の分布を推定する方法である。そのため，乾燥しやすい表層の比誘電率を小さく，内部を大きく推定できるなどの特徴がある。一方で，鉄筋が緊結されていることを仮定していることから，緊結されていなければ誤差を生じるなどの問題がある。

5.11　附属書 H

附属書 H では，かぶり厚さや部材厚さなどの実測値を用いて比誘電率を推定する方法を示した。実測法は，実構造物からの情報をもとに比誘電率を推定する方法であり，参考として示した 3 つの推定方法の中で最も確実な方法といえる。ただし，小径コアなどにより削孔して鉄筋を露出させる場合など，コンクリート構造物の一部を破壊することとなるため，実施に際しては構造物管理者の許可を得る必要がある。

5.12　附属書 I_

附属書 I では, 測定したデータを解析しやすくするための一般的なデータ処理方法を参考として示した。鉄筋位置の探査にあたり，得られた反射画像を解析しやすいようノイズの除去や信号の強調などのデータ処理を適切に行うことは，探査精度を確保するために重要である。ここに示したデータ処理方法は一部であり，得られた反射画像の状態にあわせてデータ処理方法を選択するとよい。

また，鉄筋位置及びかぶり厚さの推定精度を向上するためには，機器の精度向上のみでなく，画像からの鉄筋位置の推定精度をさらに向上できるデータ処理方法の開発が必要とされる。

6　懸案事項

a)　定期点検の方法と標準試験体

3 審議中に問題となった事項の **c)**でも述べたとおり，定期点検の方法と標準試験体を規定するまでには至らなかった。装置の性能確認がだれでも納得できる標準的な方法の規格が必要である。

b)　比誘電率

電磁波レーダを用いる鉄筋探査，特にかぶり厚さを測定する場合，測定精度はコンクリート中の比誘電率の推定精度に依存するといっても過言ではない。今回参考で示した**附属書 F**，**附属書 G** 及び**附属書 H** は，探査装置自体の測定分解能の問題と併せて，次のような多くの問題があるが，ある程度実績があることから参考に示した。

附属書 F“カーブフィッティング法”は，反射波形に近似するような比誘電率を求めている。そのために，明瞭な反射波形が必要であるが，最近のように鉄筋量が多くなり鉄筋間隔が狭いような場合には，隣接する鉄筋の影響により明瞭な反射波形を得ることが難し場合には適用が難しいなどの問題がある。

附属書 G“鉄筋径法”は，鉄筋径の測定誤差がかぶり厚さの推定に大きな影響を及ぶす。特に，縦筋と横筋が緊結されていることを仮定して，それぞれのかぶり厚さの差から鉄筋径を求めており，縦筋と横筋が離れているとかぶり厚さの推定値に大きな誤差を生じるなどの問題がある。

附属書 H“実測法”は，実測した位置では精度良く比誘電率を求めることができるが，コア抜きな

どによって実測する場合は，かなりの労力が必要になり，構造体に損傷を与えるため，比誘電率が異なっていると考えられるところを何箇所も実測することが難しい。薄い部材の場合は，その厚さを用いることもできるが，表層と内部の比誘電率の違いを考慮することができない，などの問題がある。

かぶり厚さの推定精度を向上するためには，比誘電率の推定精度をさらに向上できる方法が開発され，規格化する必要がある。

c) 2 段以上の配筋探査

現在，探査可能な鉄筋は，コンクリート表面側にある鉄筋に限られている。さらに内部の鉄筋探査が可能な装置，試験方法の開発が必要である。

d) 仕上げ材とかぶりコンクリートの分離

仕上げ材がある場合のかぶり厚さの測定は困難である。その理由は，仕上げ材の厚さ及びコンクリートのかぶり厚さまでの反射波往復時間を分離して求めることが困難であること，またそれぞれの比誘電率を推定することも困難であるからである。今後，仕上げ材があるような場合，かぶりコンクリートと分離して測定できる方法の開発が必要である。

e) 変状の探査

電磁波レーダ法を有効に活用すれば，鉄筋探査と同時にコンクリート中の空洞など変状の検出も可能である。今後，変状検出の試験方法の規格化が望まれる。

f) 併用法

コンクリート中にはパイプ，空隙などもあり，レーダによって検出されるため，これらが鉄筋かどうかを確認しなければならない場合がある。波形の位相によって判断できるが，熟練を要すること，判断に時間がかかることなどから，電磁誘導や放射線（X 線）透過などを併用するとよい（併用法）。併用法についても規定できれば，施工条件などに応じた探査が容易となる。

g) 試験技術者

現在実施されている鉄筋探査に関する技術認証制度などは**解説表 3** にまとめたとおりであるが，これらは国土交通省が実施している鉄筋探査などに限定されて実施されているものであり，今後 **b)～f)** などの規格の確立とともに，これらの探査をより専門的に行うことができる技術者の認証制度が望まれる。